

## 2. GAZLARDA $\alpha$ -PARÇACIKLARININ ENERJİ KAYBININ ÇOK KANALLI ANALİZÖR YARDIMIYLA İNCELENMESİ

### Amaç

Hava ve diğer gazların içerisindeki parçacık konsantrasyonuna bağlı olarak alfa parçacıklarının enerji kaybı ölçülecektir. Ölçüm sonuçlarının anlaşılabilmesi için ağır yüklü parçacıkların madde ile etkileşmesi, enerji kaybı, durdurma gücü, Bethe formülü, Bragg eğrisi gibi kavramlar incelenecektir.

### Deney Malzemeleri

- Alfa Detektörü
- Çok Kanallı Analizör (Multichannel Analyser-MCA)
- MCA için measure yazılımı
- Alfa detektörü için önyükselteç
- Aktivitesi 3.7 kBq olan  $^{241}\text{Am}$  radyoaktif kaynağı
- Aktivitesi 370 kBq olan  $^{241}\text{Am}$  radyoaktif kaynağı
- İki aşamalı diyafram tipi vakum pompası (220 Volt)
- Cam deney tüpü
- Vakum tüpü
- Dijital vakum ölçer
- 12 l Helyum, 12 l Azot ve 22 g  $\text{CO}_2$  sıkıştırılmış gazları içeren tüpler
- Kontrol vanası
- 10-17 mm çaplı hortum kelepçesi
- BNC tipi 750 mm ve 300 mm koaksiyel bağlantı kablosu
- Y şeklinde tüp bağlantı aparatı
- 20 mm genişlikli pens

### Deneye Hazırlık Bilgileri

Nükleer fizikte ağır parçacık terimi kütlesi, elektronun kütlesinden ( $m_e = 9.1 \times 10^{-31} \text{ kg}$ ) büyük olan parçacıklar için kullanılır. Ağır parçacıklara örnek olarak proton (pozitif yüklü,  $m_p = 1.67 \times 10^{-27} \text{ kg}$ ), iki proton ve iki nötrondan oluşan  $\alpha$ -parçacığı, bir proton ve bir nötrondan oluşan döteron, muon ve pion verilebilir. Ağır yüklü parçacıkların madde içerisinde ilerlerken enerjilerini kaybetmelerine sebep olan olay *iyonlaşma* ve *uyarılma*dır. Ağır yüklü parçacık madde ya da soğurucu ortam içine girdiğinde ortamdaki atomların yörünge elektronlarıyla etkileşir. Bu etkileşim kendi pozitif yükü ile elektronların negatif yükü arasındaki Coulomb kuvvetidir. Bu etkileşimde ağır yüklü parçacığın enerjisi atomun iyonlaşma enerjisinden büyük ise kendi yolu üzerindeki atomları iyonlaştırır ve atomdan elektron koparılmasına sebep olur. Eğer iyon üretmek için elektrona yeterli enerji verilmezse atom uyarılmış duruma geçer ve hemen taban durumuna geri döner [1].

Yüklü bir parçacık madde içerisinde ilerlerken elektronlar ile çarpışmalar sonucunda enerjisinin çoğunu kaybeder. Her bir etkileşimde kaybedilen enerji çok küçük olacaktır. Bu nedenle enerjisini kaybetmeden önce binlerce kez elektronlarla çarpışacaktır. Bu çarpışmalarda ağır yüklü parçacık ihmal edilebilir bir açıyla sapar ve madde içerisinde aldığı yol hemen hemen bir doğrudur [1,2].

Ağır yüklü parçacıkların madde ile etkileşmesi sonucu enerji kaybını açıklayan formül 1930'da Hans Bethe tarafından ortaya atılmıştır ve Bethe formülü olarak bilinmektedir. Bu formül birim uzunluk başına enerji kaybının büyüklüğünü verir ve

$$-\frac{dE}{dx} = \frac{4\pi n Z^2}{m_e c^2 \beta^2} \left( \frac{e^2}{4\pi \epsilon_0} \right)^2 \ln \left( \frac{2m_e c^2 \beta^2}{I(1-\beta^2)} - \beta^2 \right) \quad (2.1)$$

şeklinde yazılır [3]. Burada

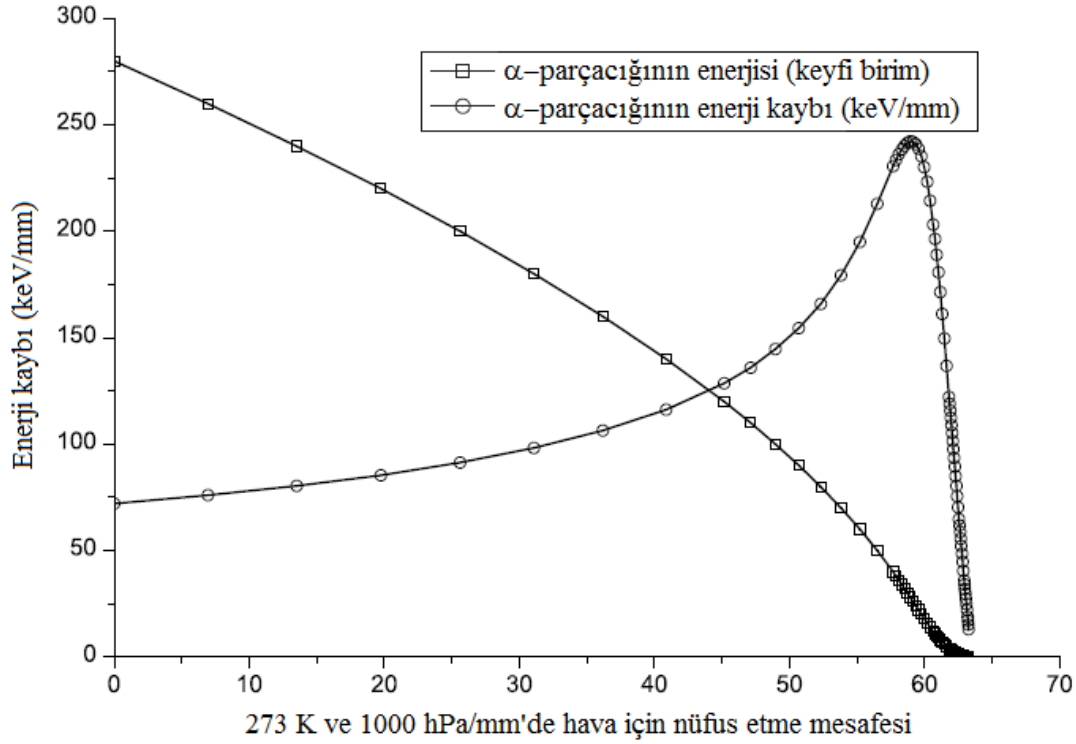
$e$	temel yük ( $1.602 \times 10^{-19} \text{ C}$ )
$Ze$	parçacığın (deneyde $\alpha$ -parçacığının) elektrik yükü
$m_e$	elektronun durgun kütlesi ( $511 \text{ keV} / c^2$ )
$\epsilon_0$	elektiriksel sabit ( $8.854 \times 10^{-12} \text{ As} / \text{Vm}$ )
$c$	ışık hızı
$\beta$	$= v / c$
$v$	parçacığın ( $\alpha$ -parçacığı) hızı
$E$	parçacığın rölativistik enerjisi
$n$	maddenin içerisinde bulunan atom elektronlarının sayı yoğunluğu
$I$	maddenin içerisinde bulunan atom elektronlarının ortalama uyarılma enerjisidir.

$\frac{dE}{dx}$  niceliği için birçok farklı isim kullanılır: enerji kaybı, özelliği (spesifik) enerji kaybı, diferansiyel enerji kaybı ya da durdurma gücü de denir [3]. Yüklü parçacığın kinetik enerji kaybetmesinden dolayı formülde negatif işaret kullanılır. Durdurma gücü  $S$  ile gösterilir ve  $S$  artarsa parçacığın enerjisi azalır [2]. Durdurma gücü ile ilgili bazı özellikler verilebilir [3]:

- Parçacığın kütlesinden bağımsızdır
- Parçacığın atom sayısının karesi ( $Z^2$ ) ile orantılıdır
- Parçacığın hızına bağlıdır
- Madde içerisinde bulunan atom elektronlarının sayı yoğunluğu  $n$  ile orantılıdır.

Yüklü bir parçacığın madde içerisinde aldığı yola göre enerji kaybının grafiği Bragg eğrisi olarak bilinir ve Şekil 2.1'de alfa parçacıkları için verilmiştir [5]. Yüklü parçacık madde içerisinde ilerlerken madde içerisindeki atom elektronlarıyla etkileşir ve enerjisi azalır. Madde içerisinde aldığı yol arttıkça enerjisi azalır. Ancak bu sırada durdurma gücü artar çünkü parçacığın kinetik enerjisiyle durdurma gücü ters orantılıdır. Bragg eğrisi incelendiğinde eğri  $1/E$  ile orantılı olarak artarken (Bethe formülünden anlaşılabilir)

parçacığın madde içerisinde aldığı yolun sonunda eğride keskin düşüş görülür. Burada parçacıklar bütün enerjilerini bırakırlar. Bu sebeple bu olay radyasyon tedavide tedavi amaçlı olarak kullanılır. Parçacık vücuda girdiğinde enerjisi yüksektir ve durdurma gücü azdır. Böylece düşük dozda radyasyon bırakır. Parçacığın enerjisi giderek azalır ve en son enerjisini bir bölgede bırakır. Bu bölge tedavi edilmek istenilen kanserli bölgedir.



**Şekil 2.1.** Havada enerjileri 7 MeV ile başlayan  $\alpha$ -parçacıkları için STAR verilerinin yardımıyla çizdirilen Bragg eğrisi [5]

Ortalama uyarılma enerjisi olan  $I$ , Bethe formülünün ana parametresidir. Bazı elementler ve bileşikler için  $I$  değerleri Tablo 2.1’de verilmiştir [4].

**Tablo 2.1.** Bilinen bazı elementlerin ve bileşiklerin ortalama uyarılma enerjisini veren tablo

Materyal	$I$ (eV)	Materyal	$I$ (eV)
He	41.8	N <sub>2</sub>	82.0
Fe	286	CO <sub>2</sub>	85.0
Na	149	Hava	85.7
Li	40.0	O <sub>2</sub>	95.0

Düşük enerjiler için ( $\beta \ll 1$ ) Bethe formülü basitleştirilebilir:

$$-\frac{dE}{dx} = \frac{4\pi n Z^2}{m_e v^2} \left( \frac{e^2}{4\pi \epsilon_0} \right)^2 \ln \left( \frac{2m_e v^2}{I} \right) \quad (2.2)$$

Denklemdede,  $m_{He}$   $\alpha$ -parçacığının kütlesi olmak üzere,  $E = 1/2 m_{He} v^2$  ve  $\mu = m_e / m_{He}$  alındığında

$$-\frac{dE}{dx} = \frac{2\pi n Z^2}{\mu E} \left( \frac{e^2}{4\pi \epsilon_0} \right)^2 \ln \left( \mu \frac{4E}{I} \right) \quad (2.3)$$

elde edilir. Bethe formülü 1 MeV üzerinde enerjiye sahip parçacıklar için kullanışlıdır. Rölativistik olmayan Bethe formülü ise 100 MeV üzerinde parçacık enerjisi için doğruluğunu kaybeder ve bu deneyde mevcut olan enerjilerin çok yukarısında bir değerdir.

Enerji kaybı, durdurucu maddenin yoğunluğuna ve parçacıkların madde içerisinde aldığı yola bağlı değildir ancak parçacıkların içerisine nüfus ettiği maddenin toplamına bağlıdır. Düşük yoğunluklu madde içerisinde alınan uzun yol ile yüksek yoğunluklu madde içerisinde alınan kısa yol aynı etkiye sahiptir. Bu sebepten durdurma gücü kütle yoğunluğu başına enerji kaybıyla (MeV.cm<sup>2</sup>/g) belirlenir. Madde içerisinde bulunan atom elektronlarının sayısı yoğunluğu

$$n = \frac{k \rho}{A u}$$

ile hesaplanır. Burada  $\rho$  durdurucu maddenin yoğunluğu,  $A$  kütle numarası,  $k$  parçacık başına elektron sayısı ve  $u$  ise  $1u = 1.6605 \times 10^{-27} \text{ kg}$  olan atomik kütle sabitidir.  $\rho$  yoğunluğu  $p$  basıncına ve  $T$  sıcaklığına bağlıdır:

$$\begin{aligned} \rho(p, T) &= \frac{p A u N_A 273 K}{T V_m 1000 hPa} \\ &= 1.269 \text{ kg} / \text{m}^3 (p / 1000 hPa) / (T / 273 K) \end{aligned}$$

ve

$$\begin{aligned} n(p, T) &= \frac{p k N_A 273 K}{T V_m 1000 hPa} \\ &= 3.825 \times 10^{26} \text{ m}^{-3} (p / 1000 hPa) / (T / 273 K) \end{aligned}$$

dir. Burada hava için molar hacim  $V_m = 22.7 \text{ l/mol}$  ( $0^\circ\text{C} = 273 \text{ K}$  sıcaklığında ve 1000 hPa basıncında) ve Avogadro sayısı  $N_A = 6.022 \times 10^{23} \text{ mol}^{-1}$  alınmıştır. Havanın %79 Azot ( $\text{N}_2$ ) ve %21 Oksijenden ( $\text{O}_2$ ) oluştuğu düşünülerek kütle numarası  $A = 0.79 \times 2 \times 14 + 0.21 \times 2 \times 16 = 28.8$  ve parçacık başına elektron sayısı  $k = 0.79 \times 2 \times 7 + 0.21 \times 2 \times 8 = 14.4$  olarak hesaba katılmıştır.

Bu deneyde alfa detektörü ile radyasyon kaynağı arasındaki mesafe 10 cm olarak ayarlanacaktır. Bu sebeple enerji kaybı sabit bir mesafe için x-bağımlılığı yerine basınç

bağımlı olarak ölçülecektir. Elektronların sayı yoğunluğu 10 cm'lik gaz tabaka kalınlığını 293 K sıcaklıkta geçen  $\alpha$ -parçacıkları için yazılırsa

$$n = k \frac{N_A}{V_m} \frac{p}{1000 \text{ hPa}} \frac{273 \text{ K}}{293 \text{ K}} \quad (2.4)$$
$$= 2.47 \times 10^{19} \text{ l}^{-1} \text{ hPa}^{-1} \times k \times p$$

olur. Denklem 2.3'de  $\mu = m_e / m_{He} = 1.371 \times 10^{-4}$ ,  $Z=2$  ve Denklem 2.4'ün kullanılmasıyla

$$-\frac{dE}{dp} = k \frac{1}{E} (2.41 \times 10^{-29} \text{ J}^2 / \text{hPa}) \times \ln \left( 5.848 \times 10^{-4} \frac{E}{I} \right)$$

veya




$$-\frac{dE}{dp} = k \frac{1}{E} (940 \text{ keV}^2 / \text{hPa}) \times \ln \left( 5.848 \times 10^{-4} \frac{E}{I} \right) \quad (2.5)$$




elde edilir. Deneyde elde edilen ölçüm sonuçları Denklem 2.5 ile hesaplanan sonuçlarla karşılaştırılacaktır.

### Deneyin Yapılışı

---

1. Deney 1'de verilen Şekil 1.2'deki deney düzeneği kurulur. Alfa detektörünün etrafına siyah renkli koruyucu takılır ve detektör vakum tüpünün içine yerleştirilir.
2. 3.7 kBq aktiviteye sahip  $^{241}\text{Am}$  kaynağı (etrafında koruyucu kalkan yoktur) cam deney tüpü içerisinde bulunan döner kol üzerindeki vidaya dikkatlice monte edilir ve alfa detektörünün önüne olabildiğince yakın yerleştirilir. Döner kol ile kaynak itilirken detektöre zarar vermeyecek şekilde yavaş olunmalıdır.
3. Kısa BNC koaksiyel kablosunun bir ucu alfa detektörüne takılır. Diğer ucu da önyükseltcin "Detektör" yazılı girişine takılır.
4. Diğer BNC kablolarından birisi koaksiyel kablosu önyükseltcin "Bias" yazılı çıkışı ile MCA'nın "Bias (öngerilim)" yazılı girişine takılır. MCA'nın "Bias" seçim anahtarı "-33V" olarak ayarlanır.
5. Bir başka BNC koaksiyel kablosu önyükseltcin "Output" yazılı çıkışı ile MCA'nın "Input" yazılı girişine takılır.
6. 5-kutuplu kalın gri koaksiyel kabloların bir ucu önyükseltcin arkasında bulunan "UB" çıkışına diğer ucu da MCA'nın "+/-12V" yazan girişine takılır.

7. Önyükseltedin üzerinde bulunan dört anahtar “ $\alpha$ ”, “Inv”, “Int.” ve “-” olarak ayarlanır.
8. MCA'nın USB çıkışı “Measure” yazılım programının bağlı olduğu bilgisayara takılır.
9. Vakum pompasından gelen siyah vakum borusunun bir ucu cam deney tüpünün vakum girişine diğer ucu ise dijital basınç ölçere takılır.
10. Mekanik vakum pompası yardımı ile dijital basınç ölçerde 11 mbar değeri görülene kadar cam deney tüpü vakumlanır.
11. İstenilen sabit vakum değerine ulaşıldığında vakum borusu üzerinde bulunan kıskaç sıkılarak cam tüp içerisindeki basıncın sabit kalması sağlanır. Ölçüm sırasında tüp içerisindeki basınç kontrol edilmelidir. Sabit basınçta tutulmaya çalışılmalıdır.
12. Deney düzeneği bahsedilen şekilde hazırlandıktan sonra bilgisayarın masaüstünde bulunan “Measure” programı çalıştırılır.
13. Açılan pencerede “Gauge” → “Multi Channel Analyser” sekmeleri tıklanır.
14. Şekil 1.3'de gösterilen pencereden “Spectra recording” seçilir ve “Continue” seçeneği tıklanır.
15. Açılan yeni pencerede “Gain”, “Level 2” ye, “Offset[%]” ise 1'e ayarlanır. Start/Stop seçeneği tıklanır ve böylece dakika başına sayım ölçülür. X-data yazılı kısımda x-ekseni “Channel number” ve “Interval width [channels]” ise “1” olarak seçilir. (Şekil 1.4). (Şekil 1.4'den farklı olarak “Offset[%]” ayarının 1 olmasına dikkat edilmelidir.)
16. Tüm ayarlamalar yapıldıktan sonra en üstte bulunan “Reset” tuşu tıklanarak ölçüm başlatılır.
17. <sup>241</sup>Am kaynağının piki “Measure” programında açıkça görüldüğünde “Accept data” seçeneği tıklanarak ölçüm durdurulur. “Total Impulse” değerinin 5000 olması bu ölçüm için yeterlidir.
18. Kaydedilen veriler programda açılan pencerede görülmektedir. “Measurement” → “Display Options” sekmesi kullanılarak elde edilen sonuçlar görülür. (“Measure” programında -aracı kullanılarak ölçüm sonucunda elde edilen pikte istenilen bölge büyütülebilir. -aracı kullanılarak pikin x ve y konumları tanımlanabilir ve böylece pikin FWHM-maksimum pik yüksekliğinin yarısındaki genişliğini hesaplanabilir.) Ekranda -aracı kullanılarak pikin  $x_1$  ve  $x_2$  kanal değerleri belirlenir ve bu kanal değeriyle enerji kalibrasyonu yapılır (Denklem 1.1).

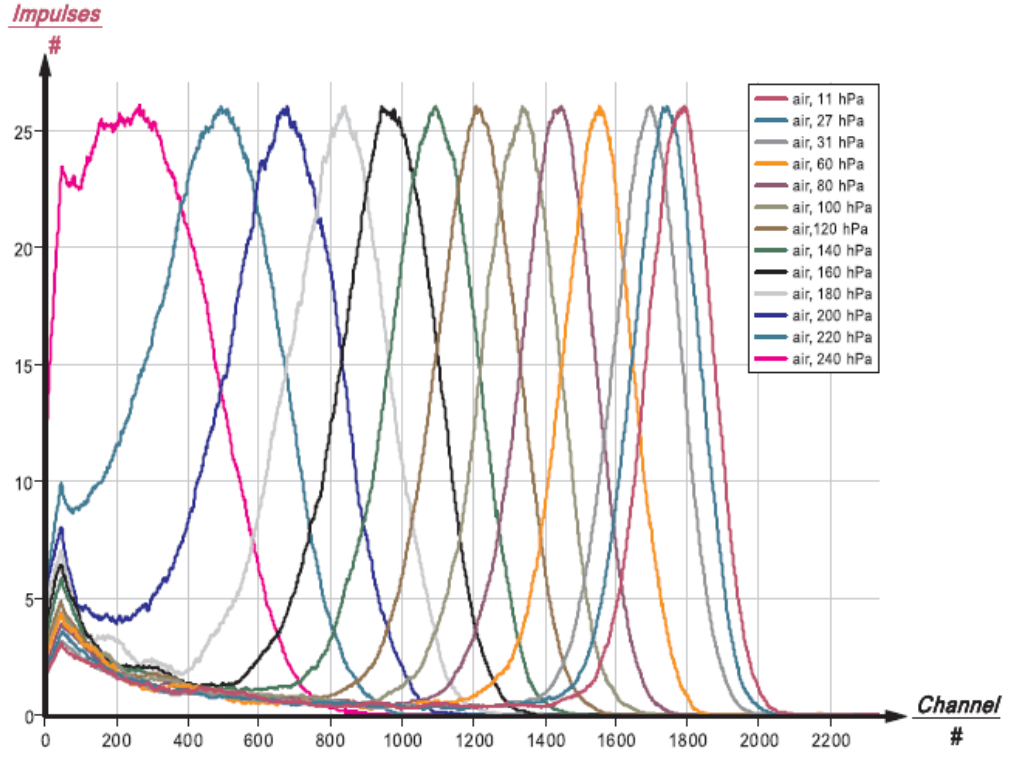
19. Vakum borusu üzerinde bulunan kısaç gevşetilir. Cam deney tüpünde bulunan hava boşaltma vanası yardımıyla cam deney tüpünün içerisindeki hava boşaltılır. Kalibrasyon kaynağı çıkartılır.
20. Etrafında koruma kalkanı olan 370 kBq aktiviteye sahip <sup>241</sup>Am kaynağı cam deney tüpü içerisinde bulunan döner kol üzerindeki vidaya dikkatlice monte edilir.
21. Kaynak ile detektör arasındaki mesafe 10 cm olacak şekilde ayarlanır. (Kaynak ile detektör diyotu arasındaki mesafe 10 cm olacak şekilde ayarlanır. Detektör diyotunun konumu siyah ışık korumasının çıkartılmasıyla görülebilir.)
22. Vakum borusu üzerinde bulunan kısaç gevşetilir. Vakum pompası yardımıyla cam deney tüpünün içerisindeki havanın 160 mbar olması sağlanır ve tekrar kısaç sıkılır.
23. Ölçüm alırken bir “background” spektrumu gözlenebilir. Bu sebeple detektöre gelen ışık engellenmelidir. Bunun için odadaki ışık kapatılır, cam deney tüpünde detektörün bulunduğu bölge ışık girmeyecek şekilde kaplanır ve cep telefonları tüpten uzakta tutulur.
24. <sup>241</sup>Am kaynağının piki “Measure” programında açıkça görüldüğünde “Accept data” seçeneği tıklanarak ölçüm durdurulur. “Total Impulse” değerinin 10000 olması bu ölçüm için yeterlidir. -aracı ya da “Analysis”→“Smooth...” seçenekleri tıklanarak pik daha düzgün bir şekilde biçimlendirilir. “Measurement”→ “Display options...”→ “Interpolation: straight lines” seçeneklerinin tıklanmasıyla pikin görüntüsü daha kullanışlı olacaktır. Ekranda oluşan spektrumu kaydediniz. Böylece  $\alpha$ -parçacığının enerji spektrumunun bir örneği elde edilir.
25. Vakum borusu üzerinde bulunan kısaç gevşetilir. Vakum pompası yardımıyla cam deney tüpünün içerisindeki havanın 11 hPa olması sağlanır ve tekrar kısaç sıkılır. 1 hPa=1 mbar’dır. Bu basınç değerinde ölçüm alınır ve Tablo 2.2’ye pikin bulunduğu kanal numarası kaydedilir. Bunun için -aracı kullanılır.
26. Tablo 2.2’de verilen basınç değerleri için yukarıdaki adım tekrarlanır. En düşük basınç değeri için “Total Impulse” değeri 10000 ve diğer basınç değerleri için ise 5000 olmalıdır. Her bir basınç değeri için elde edilen spektrum Şekil 2.2’de verilen şekile benzer biçimde aynı grafikte gösterilebilir. Bunun için “Measurement”→”Adopt channel...” seçenekleri tıklanır ve -aracında “fit individually” seçeneği kullanılır. Elde edilen spektrum kaydedilir. “Print” seçeneği tıklanarak elde edilen spektrum bir pdf dosyası olarak kaydedilir. Daha sonra bu dosyanın çıktısı alınarak deney raporuna eklenir.
27. Tablo 2.2 doldurulurken enerji değerleri, okunan kanal numaraları kullanılarak enerji kalibrasyonundan elde edilen kalibrasyon faktörü yardımıyla hesaplanır.

Ortalama enerji,  $E_i$  herhangi bir basınç altındaki enerji değeri olmak üzere  $\frac{(E_i + E_{i+1})}{2}$ , den hesaplanır.  $-\Delta E$  değerleri  $-(E_{i+1} - E_i)$  formülünden elde edilir.  $-\Delta E / \Delta p$  'nin teorik değerleri Denklem 2.5 kullanılarak hesaplanır. Teorik ve deneysel sonuçlar karşılaştırılır ve yorumlanır.  $-\Delta E / \Delta p$  (keV/hPa) - ortalama enerji E (keV) grafiği teorik ve deneysel veriler için aynı grafikte çizilir ve yorumlanır.

**Tablo 2.2.** Cam deney tüpü içerisindeki hava basıncına bağlı olarak detektöre ulaşan  $\alpha$ -parçacıklarının gecikmesi için ölçüm sonuçları

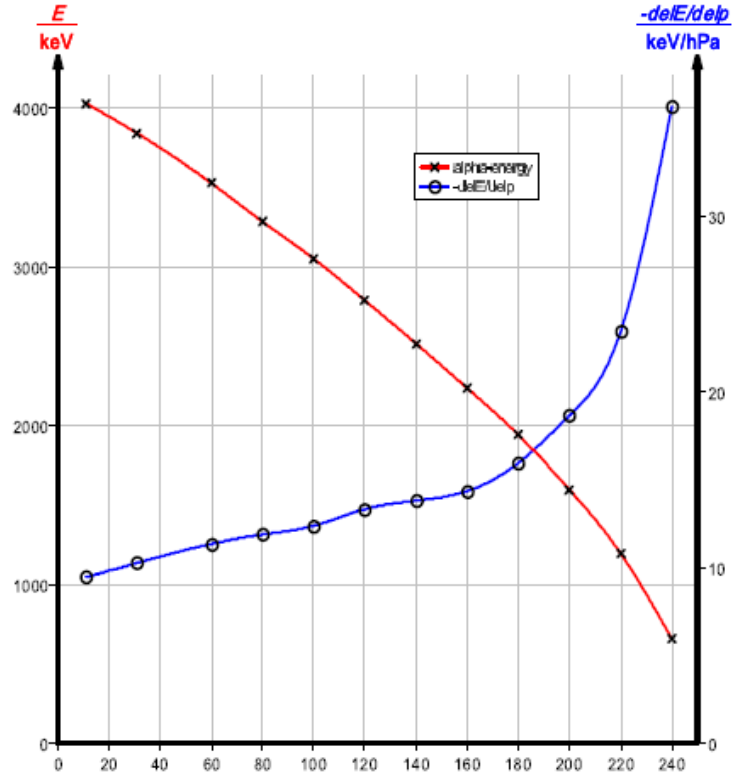
Basınç p (hPa)	Pilkın Bulunduğu Kanal Numarası (ch#)	E (keV)	Ortalama Enerji (keV)	$\Delta p$ (hPa)	$-\Delta E$ (keV)	$-\Delta E / \Delta p$ (keV/hPa)	$-\Delta E / \Delta p$ için Teorik Değer (keV/hPa)
11							
31				20			
60				29			
80				20			
100				20			
120				20			
140				20			
160				20			
180				20			
200				20			
220				20			
240				20			





**Şekil 2.2.**  $\alpha$ -parçacıklarının cam deney tüpü içerisine farklı hava basınçları uygulandığında detektöre ulaşana kadar 10 cm'lik mesafeyi geçtikten sonra elde edilen enerji spektrumu [5]

28. Tablo 2.2'deki birinci ve üçüncü sütunlar kullanılarak Şekil 2.3'e benzer biçimde Bragg eğrisi çizilebilir. "Measure" programında "Analysis" → "Channel modification..." → "differentiate" seçenekleri kullanılarak diferansiyel enerji kaybı elde edilir.



**Şekil 2.3.** Bragg eğrisi,  $\alpha$ -parçacık enerjisinin ve diferansiyel enerjinin basınca oranını gösteren grafik [5]

29. Şekil 2.4'deki deney düzeneği kurulur. İçinde  $\text{CO}_2$  gazının bulunduğu tüpün baş kısmına kontrol vanası takılır. Daha sonra tüp, hortum ve Y şeklindeki bağlantı aparatı yardımıyla cam deney tüpüne ve vakum pompasına bağlanır.



**Şekil 2.4.** Gazlarda  $\alpha$ -parçacıklarının enerji kaybının MCA yardımıyla incelenmesi deneyine ait deney düzeneği [5]

30. Cam deney tüpü içerisindeki hava basıncının 11 mbar olması sağlanır. Bu durumda “Total Impulse” değeri en az 10000 olana kadar ölçüm alınır ve kaydedilir. Pikin bulunduğu kanal numarası kaydedilir.
31. Cam deney tüpü içerisindeki hava basıncı değiştirilmeden içerisinde gaz bulunan tüp üzerindeki kontrol vanası kullanılarak CO<sub>2</sub> gazı cam deney tüpü içerisine yavaş yavaş gönderilir. Toplam basıncın yaklaşık 100 hPa olması sağlanır. Kontrol vanası kapatılır ve hortum üzerindeki kısıkaç sıkıştırılır. Bu durum için “Measure” programında ölçüm alınır ve spektrum kaydedilir. Pikin bulunduğu kanal numarası programda  $\#$ -aracı yardımıyla belirlenir ve Tablo 2.3’e kaydedilir. Cam deney tüpü içerisinde sadece hava bulunduğu durumda elde edilen pikin kanal numarasına göre CO<sub>2</sub> gazının bulunduğu durumda elde edilen pikteki kayma hesaplanır. Elde edilen spektrum bilgisayara kaydedilir.

**Tablo 2.3.** Deneyde kullanılan gaz çeşidi, gaz parçacıkları başına elektron sayısı (k), gaz çeşidine bağlı olarak  $\alpha$ -parçacıklarının enerjisindeki kayma değerlerini içeren tablo

Gaz Çeşidi	k	E (ch#)	$-\Delta E$ (ch#)	$-\Delta E$ (keV)	$-\Delta E/k$ (keV)	Teorik $-\Delta E/k$ (keV)
He	2					
N <sub>2</sub>	14					
CO <sub>2</sub>	22					
<b>E (ch#)(sadece hava olduğu durumda) :</b>						

32. Kullanılan gaz tipi değiştirilir. Cam deney tüpü üzerindeki gaz boşaltım vanası yardımıyla tüpün içerisindeki boşaltılır. Gaz bulunan tüp diğer bir tüple değiştirilir. Tekrar cam deney tüpü içerisindeki hava basıncı 11 mbar olacak şekilde tüp vakumlanır. Daha sonra içerisinde gaz bulunan tüp üzerindeki kontrol vanası kullanılarak deney tüpü içerisine gaz yavaş yavaş gönderilir. Toplam basıncın yaklaşık 100 hPa olması sağlanır. Kontrol vanası kapatılır ve hortum üzerindeki kısıkaç sıkıştırılır. “Measure” programı çalıştırılarak bir önceki adımda elde edilen spektrum açılır ve daha sonra “Gauge”→ “Multi Channel Analyser” sekmeleri tıklanarak yeni ölçüm alınmaya başlanır. 31. adımdaki gibi He ve Na gazları için elde edilen değerler Tablo 2.3’e kaydedilir.
33. Elde edilen sonuçlar yorumlanır. Cam deney tüpü içerisinde bulunan hava ve gaz çeşitlerine göre “Measure” programında gözlenen pikler “Adopt Channel” sekmesi yardımıyla aynı spektrum üzerinde çizdirilir ve kaydedilerek çıktısı alınır.

### **Kaynaklar**

---

- [1] Krane, Kenneth, Nükleer Fizik 2. Cilt, 2002, Palme Yayıncılık.
- [2] Knoll, Glenn F., Radiation Detection and Measurement, 2000, John Wiley & Sons.
- [3] Leo, W. R., Techniques for Nuclear and Particle Physics Experiments, 1994, Springer-Verlag.
- [4] Sternheimer R. M., Berger M. J., Seltzer S. M., At. Data and Nucl. Data Tables 30, 262 (1984).
- [5] PHYWE physics, deney kataloęu, [www.phywe.com](http://www.phywe.com).